

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23320131153263

UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

原模图 LDPC 联合编译码硬件实现及其译码优化设计

The Hardware Implementation and Decoding Design of
Joint
Source and Channel Coding Based on Protograph LDPC

龙小兰

指导教师: 王琳 教授

专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2016 年 月

论文答辩日期: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。

(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人签名：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

根据香农信源信道分离编码定律：将分离设计的最优信源编码与信道编码通过级联的方式形成系统，则该系统是最优的。然而这种最优是有条件的，必须在码长无限长的情况下才能够达到，实际应用场景都没办法达到最优，由此而产生了信源信道联合编码（Join source and channel code, JSCC），该编码方式有效地利用信源编码的残留冗余信息，提高了译码效率和通信系统的整体性能。为了对基于双 LDPC 码的 JSCC 系统的性能进行研究与改进，尤其是地板区的性能，可以通过理论分析结合软硬件仿真来验证。

原模图 LDPC 具有准循环特性，简单的结构易于存储编码矩阵，同时可采用分层迭代译码——TDMP 算法，不仅降低 LDPC 码硬件实现的难度，而且解决了编译码高复杂度的难题。

本文的主要工作之一是利用 FPGA 来搭建 JSCC 全硬件仿真平台。由于该平台包含随机信源发生器，信源信道编码器，AWGN 信道模块，联合信源信道译码器以及中央控制器等多个模块，因此，将这些模块进行联动联调是该工作的难点之一。

本文的另一个主要工作是在软件实现上对原模图 LDPC 联合译码算法进行优化。论文研究并改进的多层感知译码算法（Multi-Layer Perception decoder, MLPD）。该算法能够有效提高译码速率，且计算复杂度较低，其纠错性能与 BP 算法相比略有下降，是一种适于硬件实现的译码算法。另外，利用基于可靠度信息为导向的 BP (Reliability-wise BP, RW-BP)译码算法优化了译码性能，将其应用到 D-JSCC 系统信源译码器与信道译码器之中，并得到了系统性能的提升。这两个算法的研究工作对 D-JSCC 系统的发展有一定的指导意义。

关键词：信源信道联合编码；原模图 LDPC 码；多层感知译码(MLPD)；RW_BP

厦门大学博士论文摘要库

Abstract

All along, the source coding and channel coding are separate designed. Because of its optimal performance, the separate coding becomes the mainstream communication system. However, this optimum is conditional, only in the situation of the code length is infinite can achieve optimal. In reality, many scenes can not be optimal, under such conditions come into the joint source-channel coding (JSCC), this coding scheme can effective use the residual redundancy of source coding information to improve the overall performance of coding efficiency and communication systems. As JSCC theory is more and more mature now, it is the inevitable trend to convert it from theory to hardware implementation and exploit the research results into actual production.

Protograph LDPC has the quasi cycle characteristics and simple structure, so it is easy to store the encoded matrix, and can be layered iterative decoding by TDMP algorithm. It can not only reduce the difficulty of LDPC code hardware implementation, but also solve the problem of high complexity of coding.

One of the main work of this paper is to set up the whole hardware system of join source-channel encoding and decoding. Proto-graph LDPC is a subclass of the LDPC code, this pattern has a simple structure and ease to be implemented in hardware. We choose the R4JA proto-graph LDPC to be the base matrix of the source code, and the AR4JA proto-graph LDPC to be the base matrix of the channel code.

Another major work of this paper is optimized joint source-channel decoding algorithm based on the Proto-graph LDPC on the software implementation. In order to improve the coding rate and reduce the complexity of decoding, we use the improved Multi-Layer Perception decoder (MLPD). In addition, in order to improve the decoding performance, we use the BP decoding algorithm with reliability information-oriented, which is called the Reliability-wise BP (RW-BP), and what's more, we apply it to the JSCC system. Both studies contribute to optimizing the hardware.

Keywords: Joint source-channel coding; protograph LDPC code; Multi-Layer

Perception decoder (MLPD); RW_BP;

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题背景和意义.....	2
1.2 研究现状	3
1.2.1 原模图LDPC联合编译码研究现状	3
1.2.2 原模图LDPC码联合编译码硬件实现的研究现状.....	5
1.3 本文主要工作.....	6
1.4 论文的结构	7
第二章 原模图LDPC码联合编译码理论基础.....	8
2.1 传统LDPC码的基础介绍	8
2.1.1 LDPC 码的定义	8
2.1.2 LDPC的表示方法	9
2.1.3 LDPC编码	11
2.1.4 LDPC译码	12
2.2 原模图LDPC	15
2.2.1 原模图LDPC基本介绍	15
2.2.2 原模图LDPC构造方法	16
2.3 联合信源信道编译码算法.....	17
2.3.1 信源信道联合编码	17
2.3.2 信源信道联合译码	18
2.4 本章小结	20
第三章 基于原模图LDPC的联合编译码硬件测试平台	22
3.1 联合信源信道硬件框架.....	22
3.1.1 整体框架及模块构成.....	23
3.1.2 系统开发环境和开发平台.....	24
3.2 子模块的具体方案.....	25
3.2.1 信源产生模块	25
3.2.2 信源信道编码模块	27
3.2.3 BPSK调制模块及AWGN高斯信道模块.....	29
3.2.4 量化模块	30
3.2.5 补位模块	31
3.2.6 信源信道联合译码模块.....	31
3.2.7 控制模块	39
3.3 测试结果	40
3.3.1 资源消耗及改进方案.....	40
3.3.2 性能仿真	44
3.4 本章小结	45
第四章 原模图LDPC联合译码的优化设计	46
4.1 MLPD算法的改进	46
4.1.1 MLPD算法	46
4.1.2 MLPD译码复杂度分析	48

4.1.3 MLPD算法译码性能分析	51
4.1.4 针对原模图LDPC码的改进MLPD算法	53
4.2 基于RW_BP译码算法的信源信道联合译码.....	55
4.2.1 RW_BP算法	56
4.2.2 RW_BP译码算法的性能分析	58
4.2.3 在联合编译码中运用RW_BP算法.....	58
4.3 本章小结	60
第五章 总结和展望.....	61
5.1 本文总结	61
5.2 工作展望	61
参考文献.....	62
致谢	68
攻读硕士期间从事的科研项目	70

CONTENTS

Chapter1 Introduction	1
1.1 Background and Significance	2
1.2 Current Research Situation	3
1.2.1 Theoretical Research for JSCC on Protograph LDPC code.....	3
1.2.2 Current Research Situation of Hardware System of JSCC	5
1.3 Contents of the Thesis.....	6
1.4 Outline of the Thesis.....	7
Chapter 2 Theory of JSCC based on Protograph LDPC Codes.....	8
2.1 Traditional LDPC.....	8
2.1.1 Definition of LDPC	8
2.1.2 Representation of LDPC	9
2.1.3 Encoding Algorithm of LDPC Codes	11
2.1.4 Decoding Algorithm of LDPC Codes	12
2.2 Protograph LDPC code.....	15
2.2.1 Introduction of Protograph LDPC codes	15
2.2.2 Construction of Protograph LDPC codes.....	16
2.3 Algorithm of Joint Source-Channel Coding	17
2.3.1 Encoding Algorithm of Joint Source-Channel Coding	17
2.3.2 Decoding Algorithm of Joint Source-Channel Coding	18
2.4 Conclusions.....	20
Chapter 3 The Hardware Implementation of JSCC based on Protograph LDPC Codes	22
3.1 The Basic Framework of Joint Source-Channel Coding	22
3.1.1 Basic Framework and Modules	23
3.1.2 System Development Environment and Development Platform	24
3.2 Specific Program of the Sub-module	25
3.2.1 Source Generation Module	25
3.2.2 Joint Source-Channel Coding Module.....	27
3.2.3 BPSK Modulation Module and AWGN Channel Module	29
3.2.4 Quantization Muldue	30
3.2.5 Puncturing Module	31
3.2.6 Joint Source-Channel Deoding Module	31
3.2.7 Control Module.....	39
3.3 Result	40
3.3.1 Consumption of Resources and Improvement Program	40
3.3.2 Performance Simulation.....	44
3.4 Simulation Result.....	45
Chapter 4 Joint Optimization of Protograph LDPC Codes.....	46
4.1 Improvement of MLPD Algoriithm	46
4.1.1 MLPD Algorithm	46
4.1.2 Complexity of MLPD Algorithm.....	48

4.1.3 Performance of MLPD Algorithm	51
4.1.4 Improved algorithms for MLPD on Protograph LDPC codes	53
4.2 JSCD based on RW BP decoding algorithm	55
4.2.1 RW_BP Algorithm	56
4.2.2 Performance of RW_BP Algorithm	58
4.2.3 JSCD based on RW BP decoding algorithm	58
4.3 Conclusions.....	60
Chapter 5 Conclusions and Suggestions.....	61
5.1 Conclusions.....	61
5.2 Suggestions	61
References.....	62
Acknowledge	68
Researches During the Period of M.SC Degree.....	70

第一章 绪论

通信的目的是传递消息中包含的信息。通信可分为两大类：模拟通信和数字通信。在模拟通信中传输的是模拟波形，携带的是取值可以连续变化的某个参量的信息。而数字通信系统中，传输的是包含在信号的某个离散取值中的信息。由于数字通信具有较高的准确性、良好的抗干扰能力与保密性、更容易制造设备，可对信源进行压缩以减小冗余等特点，因此被广泛应用到通信系统中。数字通信系统的系统模型如下：

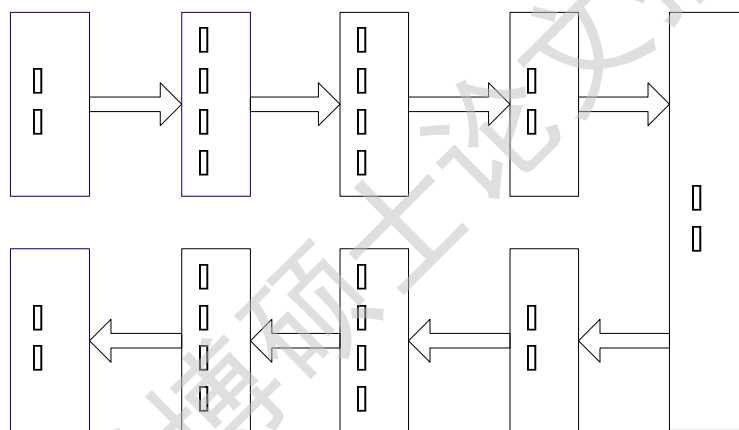


图1-1 数字通信系统模型

随着当今社会通信技术的不断发展与应用，人们对通信系统的有效性和可靠性的需求日益增高，4G、5G网络就是随着通信技术的发展而不断优化的第4、5代通信网络。有效性是指信道传输有效信息的速度快慢；可靠性主要是指信道传输信息的可靠程度。

有效性和可靠性是互相矛盾的，而信道纠错编码理论恰好可以缓解两者间的矛盾，在各种码型中，低密度奇偶校验（low-density-parity-check, LDPC）码^[27]以其优良的性能而得到广泛关注。但是由于传统LDPC码存在着一些缺陷阻碍了它的进一步发展，因此，研究者们提出了信源信道联合编译码（Joint Source-Channel Coding, JSCC）理论，有效利用了信源编码残留的冗余信息，从

而大幅度提高了译码性能。如今，联合信源信道编译码技术亟待从理论到实际工程应用的蜕变，联合编译码的硬件实现已成为通信界发展的必然趋势，该技术必将成为引领时代的前沿科技，为通信技术翻开新的篇章。

本章首先阐述了信源信道联合编译码及其硬件实现的研究背景和国内外研究现状，然后介绍了本文的主要研究内容，最后简要概述了本论文的结构。

1.1 课题背景和意义

通信的主要目的是提高通信系统的传输速率和传输质量，即增加通信系统的有效性和可靠性，保证接收端能够快速、准确地恢复出原始信号。由于传输速率和传输质量是相互矛盾的，两者之间的权衡成为通信系统研究过程中重要的课题，也成为评判一个通信系统优劣的关键性标准之一。

信源编码主要对输入信息进行编码，将有用信息压缩后打成易于传输的数据包。信源编码的作用之一是减少码元长度从而增加有效性，即通常所说的数据压缩；作用之二是将信源的模拟信号转化成数字信号，以实现模拟信号的数字化传输，即所谓的模数转换。

信道编码则恰恰相反，主要通过给信息增加冗余以增加其可靠性，增加了复杂度，浪费了系统带宽，因此有效性降低了。

1948 年，香农在其发表在贝尔实验室的一本技术杂志的论文《A Mathematical Theory of Communication》^[1]中首次引入了信道容量的概念，Shannon 的分离定理包括两个方面：信源编码定理和信道编码定理。信源编码定理为：如果信源码长足够长，那么存在无失真的编码，使得传输每一个信源符号所需要的符号数接近信源的熵。也就是说，如果信源编码的码率大于信源熵，那么信源信息就能在信道中可靠传输。信道编码定理为：在给定信道条件下，一定存在某种编码方式，能够以接近信道容量（即香农限）的传输速率进行可靠通信，错误概率可以无限小。因此，寻找接近香农限的码型成为研究编码的首要任务。经过大量的实验，研究学者们终于找到接近香农限的一种码——纠错码，如 Turbo 码^[2]和 LDPC 码。

分离设计中，信源编码和信道编码都可以分别做到最优化设计，且级联后整个系统仍然可以保持最优性，另外分离设计编码设计具有简单的系统构建。但是，

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.